

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00

TNO-rapport

TNO 2021 R10855

Openbaar eindrapport - Aardgasloos levensloopbestendig en Vitaal douchen

Datum	16 juni 2021
Auteur(s)	ir. P. Jacobs dr. ir. C. Lelieveld
Aantal pagina's	32
Aantal bijlagen	--
Opdrachtgever	RVO - DEI Aardgasloze woningen, wijken en gebouwen
Projectnummer	060.41188

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

Samenvatting

In het project zijn op basis van een fysisch model, laboratoriumtesten en een Programma van Eisen voor de specifieke doelgroep van particuliere oudere woningbezitters succesvol twee prototype badkamerrenovatiepakketten ontwikkeld en in de praktijk gedemonstreerd voor het aardgasloos of aardgasloos-ready maken van de warmtapwater voorziening.

In Nederland worden jaarlijks circa 100.000 badkamerrenovaties uitgevoerd in particuliere woningen. Dit betreft vrijwel altijd vervanging van het sanitair (bad en/of douche, wc, tegels) zonder energetische verbetering ten aanzien van warmtapwaterbereiding. Om hierin verandering te brengen is het doel van het project om twee prototype renovatiepakketten voor badkamers te ontwikkelen om warmtapwaterbereiding aardgasloos of aardgasloos-ready te maken in particuliere woningen. Voorwaarde is dat in één dag het bad vervangen kan worden door een energiezuinige elektrische inlopdouche, waardoor de woning levensloopbestendiger wordt gemaakt en mensen langer thuis kunnen wonen. In het eerder uitgevoerde TKI-project MEED is door TNO samen met Beter Bad en Hametech een geïsoleerde gesloten douchecabine ontwikkeld voor woningcorporaties met daarin geïntegreerd een hoogrendement douchewarmtewisselaar en een 10 liter boiler waarmee 70% energiebesparing op douchen wordt bereikt. Vervolgens is in het lijn 0 project RenoDouche deze zogenaamde RenoDouche doorontwikkeld en in 6 woningcorporatie-woningen geplaatst. Op basis hiervan is in het onderhavige project samen met bovengenoemde partners en Molenaar de VitaalDouche ontwikkeld voor de particuliere woningmarkt. Hiervoor is een Programma van Eisen opgesteld waarbij een inlopdouche met een lage instap als belangrijke eis werd gegeven. Hiervan zijn in de praktijk twee uitvoeringsvormen gedemonstreerd: een douchecabine met open bovenzijde met schuifdeur en een inlopdouche.

Door een 43 liter boiler toe te passen kon het aansluitvermogen worden verlaagd naar 1.800 W, zodat deze op een normaal stopcontact kan worden aangesloten en geen zware elektrische aansluiting noodzakelijk is. Om inzicht te krijgen in het meest optimale rendement zijn twee installatievarianten ontwikkeld en in het laboratorium getest:

1. Een inbouwframe met een 43 liter boiler, *helix warmtewisselaar* en een pomp in combinatie met een douchebak met douchegoot.
2. Een inbouwframe met een 43 liter boiler, *pijp in pijp warmtewisselaar* en een pomp in combinatie met een douchebak met douchegoot.

Door de veel hogere warmteterugwin efficiëntie van de helix warmtewisselaar is hiermee een twee maal zo lange doucheduur mogelijk dan met de pijp in pijp warmtewisselaar. Op basis hiervan is besloten om het concept met de helix warmtewisselaar verder uit te werken tot een proefmodel.

De twee uitvoeringsvormen 'open bovenzijde met schuifdeur' en 'inlopdouche' zijn in een particuliere woning geplaatst en vervolgens is het functioneren (comfortbeleving) en de energiebesparing gemonitord door middel van een gebruikersenquête en geplaatste sensoren. Mediane waarden voor het WTW (warmteterugwin) en het systeemrendement gedurende 40 douchebeurten bij de

eerste pilot waren respectievelijk de 77% en 61%. Uit de eerste installatie en de gebruikersenquête is een aantal verbeterpunten gedestilleerd die bij de inloopdouche in de tweede woning direct zijn toegepast, zoals reductie van het pompgeluid. De montage van de douches is tijdens het project geanalyseerd en geoptimaliseerd. Hierdoor is in de praktijk tussen de eerste en tweede doucheplaatsing de inbouwtijd gehalveerd naar twee dagen. De beoogde installatie in één dag is in dit project nog niet behaald. Wel wordt hiermee voor de gebruiker het aantal dagen dat niet kan worden gedoucht tot een minimum beperkt tot één dag (s 'ochtends douchen voor renovatie, s 'avonds de volgende dag douchen na oplevering). Verdere optimalisatie is nodig om de doelstelling van de inbouw van 1 dag te behalen.

Onder worst case praktijk condities, bij een wateraanvoertemperatuur van 8,3 °C, is in de douchecabine een douche duurtest uitgevoerd, hierbij is een maximale doucheduur waarbij de gewenste watertemperatuur geleverd kon worden van ruim 20 minuten vastgesteld. Het gemiddelde WTW en systeemrendement waren respectievelijk 79% en 69%. De maximale doucheduur in de praktijk is korter dan in de laboratoriummetingen vastgesteld. Dit kan worden verklaard door een hoger waterdebiet, hogere douchetemperatuur, hogere warmteverliezen en een lager boilervermogen.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	1
1	Gegevens project.....	4
2	Inleiding	5
2.1	Aanleiding en probleemstelling.....	5
2.2	Doelstelling	6
2.3	Werkwijze	6
3	Werkpakket 1 Programma van Eisen.....	8
4	Werkpakket 2 Ontwikkeling doucheconcepten	9
4.1	Conceptontwikkeling.....	9
4.2	Ontwerp en assemblage laboratoriummodellen.....	11
4.3	Ontwerp en assemblage renovatiepakketten voor praktijktest.....	14
5	Werkpakket 3 Laboratoriumtesten.....	16
6	Werkpakket 4 Installatie en monitoring.....	19
6.1	Eerste pilot vervanging ligbad door douchecabine met schuifdeur.....	19
6.2	Tweede pilot met inloofdouche.....	25
7	Discussie	28
8	Conclusies en aanbevelingen	29
8.1	Conclusies	29
8.2	Aanbevelingen	29
9	Ondertekening	31

1 Gegevens project

Projectnummer: DEI319025

Projecttitel: Aardgasloos levensloopbestendig en Vitaal Douchen

Penvoerder: TNO

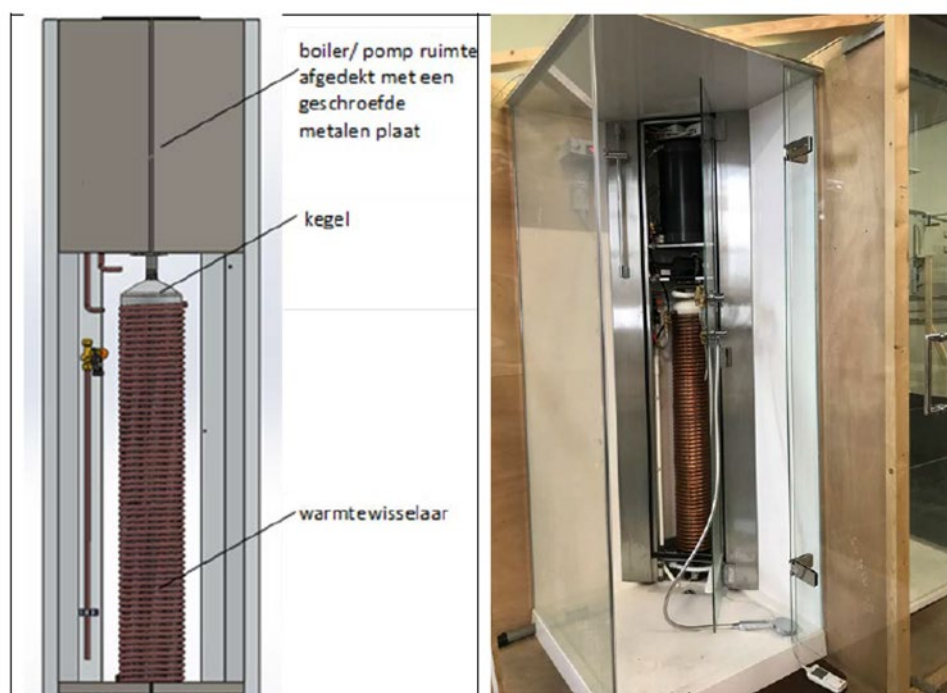
Medeaanvragers: Beterbad Productie B.V.
Hametech B.V.
Molenaar Montage B.V.

Het project is uitgevoerd met Topsector energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.

2 Inleiding

2.1 Aanleiding en probleemstelling

In Nederland worden jaarlijks circa 100.000 badkamerrenovaties uitgevoerd in particuliere woningen. Bij een aanname van een gemiddelde renovatieprijs van 10.000 euro per badkamer gaat dit jaarlijks om 1 miljard euro. Dit betreft vrijwel altijd vervanging van het sanitair (bad en/of douche, wc, tegels) zonder energetische verbetering ten aanzien van warmtapwaterbereiding. Dit biedt ook mogelijkheden voor het aardgasloos(-ready) maken van de woning als bij de badkamerrenovatie ook de warmwaterbereiding wordt meegenomen. Bij renovatieconcepten wordt weinig aandacht besteed aan warmtapwaterbereiding. In 2020 is door TNO, Hametech, Beter Bad en drie woningbouwcorporaties een renovatiepakket ontwikkeld in het lijn 0 project RenoDouche. Deze omvat een elektrische douchecabine die in het TKI-project Multifunctionele Energie Efficiënte Douchecabine (MEED)¹ is ontwikkeld: een geïsoleerde gesloten douchecabine met daarin geïntegreerd een hoogrendement douchewarmtewisselaar waarmee 70% energiebesparing op douchen wordt bereikt, zie Figuur 1.



Figuur 1 Links: 3D-tekening van MEED installatiekolom, waarbij de elektrische compartimenten met een boiler en pomp zijn afgedekt met een metalen plaat. Rechts: laboratorium-model van douchecabine met installatiekolom.

¹ <https://repository.tudelft.nl/view/tno/uuid:40223d15-7eac-4637-9c60-78f6837680a5>

In laboratoriummetingen in TKI MEED is aangetoond dat het mogelijk is om met 4 kW elektrisch vermogen 8 liter water per minuut te leveren van 40 °C. De cabine hoeft alleen op koud drinkwater, 2 maal 16 Ampère en de riolering te worden aangesloten. Voor het opstarten volstaat een 10 liter close-in boiler. Om de MEED, een gesloten douchecabine, die maximaal gericht is op energiebesparing in de sociale huursector, toe te passen in de particuliere woningmarkt dient deze zoveel mogelijk te worden omgevormd naar 'main stream' consumentenconcepten zoals inloopdouches.

Naast het aardgasloos-ready maken zal in dit project worden ingespeeld op het levensloopbestendig maken van woningen. In 2018 werd een kwart van de koopwoningen bewoond door minimaal 1 bewoner in de leeftijd vanaf 65 jaar. Dit betreft 1,1 miljoen woningen, waarvan een deel de komende jaren levensloopbestendig dienen te worden gemaakt. Het vervangen van baden door veilige comfortdouches met een lage instap is hier een onderdeel van. In 60% van de gevallen wordt deze vervanging door Molenaar in 1 dag gerealiseerd. Dit is ook een ideaal moment om deze woningen wat betreft warmtapwaterbereiding aardgasloos te maken. De RenoDouche is met Molenaar – specialist in comfortsanitair om mensen langer thuis te laten wonen – in dit project verder ontwikkeld tot twee renovatieconcepten. Beide concepten zijn er op gericht om ouderen zoveel mogelijk gebruikscomfort te geven.

2.2 Doelstelling

Het doel van het project is om twee prototype badkamerrenovatiepakketten te ontwikkelen en in de praktijk te demonstreren voor het aardgasloos of aardgasloos-ready maken van particuliere woningen. Doelstelling van de te ontwikkelen VitaalDouche is om met de hoogrendement douchewarmtewisselaar 75% van de warmte uit het douchewater terug te winnen in een zo open mogelijke uitvoering. De VitaalDouche zal met Molenaar Badkamers verder worden ontwikkeld tot twee renovatieconcepten waarbij de inbouw binnen één dag uitgevoerd kan worden: een cabine met open bovenzijde met schuifdeur en een inloopdouche. Deze twee concepten zullen in twee woningen onder reële omstandigheden op energiebesparing, onderhoud en comfort worden getest. Binnen een jaar na het project zal minimaal 1 variant van de VitaalDouche beschikbaar zijn voor de markt. Het einddoel is om binnen vijf jaar na afloop van het project 10.000 particuliere woningen wat betreft warmtapwater aardgasloos te maken.

2.3 Werkwijze

Voor de uitvoering van het project is de volgende werkwijze aangehouden. Het project is begonnen met het opstellen van het Programma van Eisen (PvE) (Werkpakket 1 Programma van Eisen). Door middel van werksessies met Molenaar zijn de functionele eisen van de VitaalDouche in beeld gebracht voor de specifieke doelgroep van particuliere oudere woningbezitters. Hiervoor wordt de systematische System engineering aanpak gehanteerd. BeterBad en Hametech hebben met name randvoorwaarden wat betreft technische realisatie aangegeven. TNO heeft op basis van fysische kennis en eenvoudige berekeningen aangegeven

welke besparingen mogelijk zijn. Tijdens de ontwikkeling van de Vitaaldouche is het Programma van Eisen continue getoetst en bijgewerkt.

In “Werkpakket 2 Ontwikkeling doucheconcepten” zijn twee verschillende doucheconcepten voor warmtapwaterbereiding ontwikkeld: de helix warmtewisselaar en een additionele installatievariant die gebruik maakt van een pijp-in-pijp warmtewisselaar. Hierbij is naast energiebesparing en comfortverbetering ook onderzocht hoe de kostprijs verlaagd kan worden door gebruik te maken van standaard componenten zoals een boiler met een beperkt vermogen. Om een inschatting te kunnen maken van de maximale douchetijd dat geriefelijk kan worden gedoucht is een rekensheet met een fysisch model opgesteld wat het effect van verschillende parameters voorspeld.

Van beide installatievarianten zijn proefopstellingen functioneel getest in een laboratoriumomgeving (Werkpakket 3 Laboratoriumtesten). Op basis van de laboratoriumtesten is het ontwerp verbeterd en zijn voor de praktijktest twee VitaalDouches geassembleerd op basis van het helix-principe.

In “Werkpakket 4 Installatie en monitoring” is de plaatsing van de VitaalDouche in particuliere woningen geanalyseerd en geoptimaliseerd. Na de plaatsing is het functioneren en de energiebesparing gemonitord door middel van sensoren. De gebruikerservaringen en comfortbeleving is geanalyseerd door middel van gebruikersenquêtes en interviews. Waar mogelijk is de comfortbeleving geoptimaliseerd door aanpassing van de technische instellingen van de VitaalDouche.

3 Werkpakket 1 Programma van Eisen

Een samenvatting van het Programma van Eisen staat vermeld in Tabel 1.

Tabel 1 Programma van Eisen VitaalDouche.

	douchecabine	inloopdouche
Plaatsing bij	Van bad naar douche	Van bad naar douche
Installatietijd	Plaatsing in 1 dag	Plaatsing in 1 dag
Voeding	1 x 230 16 A	1 x 230 16 A
Maximale douchetijd [minuten]	45	45
# liter 40 °C/minuut	8 liter/min.	8 liter/min.
Schoonmaak warmtewisselaar waterfilter	1 x per 3 maanden 1 x week	1 x per 3 maanden 1 x week
WTW efficiëntie	> 80%	> 80%
Lage instap	1 – 5 cm	1 – 5 cm
Cabine Afmetingen (L x B x H)	180* x 90 x 200 cm	180 x 90 x 200 cm

* De lengte is afhankelijk van de lengte van het bad en dit is aanpasbaar door de lengte van de douchebak aan te passen.

4 Werkpakket 2 Ontwikkeling doucheconcepten

4.1 Conceptontwikkeling

4.1.1 Grotere boiler met lager vermogen

Door het volume van de ingebouwde boiler van 10 naar 43 liter te vergroten kan het probleem van de zwaardere 6kW elektrische aansluiting bij de inloopdouche worden voorkomen en kan een standaard boiler met 2 tot 3 kW worden toegepast, wat de kosten reduceert. Wel wordt hierdoor de maximale tijd dat geriefelijk kan worden gedoucht beperkt ('lege' boiler).

4.1.2 Fysisch model voor bepaling douchetijd

Een rekensheet is opgesteld waarmee op basis van een aantal parameters een inschatting kan worden gemaakt van de maximale douchetijd bij verschillende boilergroottes, boilervermogens, de efficiëntie van douchewarmteterugwinning en het warmteverlies door geleiding en verdamping. Het warmteverlies is ingeschat op basis van laboratoriummetingen in TKI MEED². In Tabel 2 is een screenshot weergegeven voor de berekening van een douchecabine en een inloopdouche.

Tabel 2 Screenshot van rekensheet voor maximale douchetijd uitgaande van een koud water aanvoertemperatuur van 10 °C, 8 liter per minuut van minimaal 38 °C en een 43 liter boiler bij aanvang op 65 °C.

	douchecabine	inloopdouche
Vereiste vermogen [W]	15605	15605
WTW efficiëntie [%]	80	80
Warmteverlies cabine [W]	2500	3500
Warmteverlies warmtewisselaar [W]	2621	2421
Vereiste elektrisch vermogen [W]	5121	5921
Elektrisch vermogen bovenin [W]	2600	2600
Tekort [W]	2521	3321
Afname warm water in boiler [l/min]	1.0	1.3
Douchetijd [min]	43	34
"Koud" water aanvoer temperatuur boiler [C]	28.8	27.4
Elektrisch vermogen onderin [W]	0	0
Warm water onttrekking aan boiler [l/min]	2.0	2.3
Boilertemperatuur onderzijde [C]	28.8	27.4
Opwarmtijd [min]	42	43
Elektrische capaciteit ivm salderen [kWh]	1.8	1.9
Systeem efficiëntie [%]	67%	62%

Hierna wordt een aantal begrippen in de tabel toegelicht.

Warmteverlies warmtewisselaar: dit is het deel van de warmte wat niet uit het douchewater wordt teruggewonnen omdat de WTW efficiëntie lager is dan 100%.

Systeemefficiëntie: percentage warmte wat wordt teruggewonnen ten opzichte van het totale vereiste douchevermogen.

² <https://repository.tudelft.nl/view/tno/uuid:40223d15-7eac-4637-9c60-78f6837680a5>

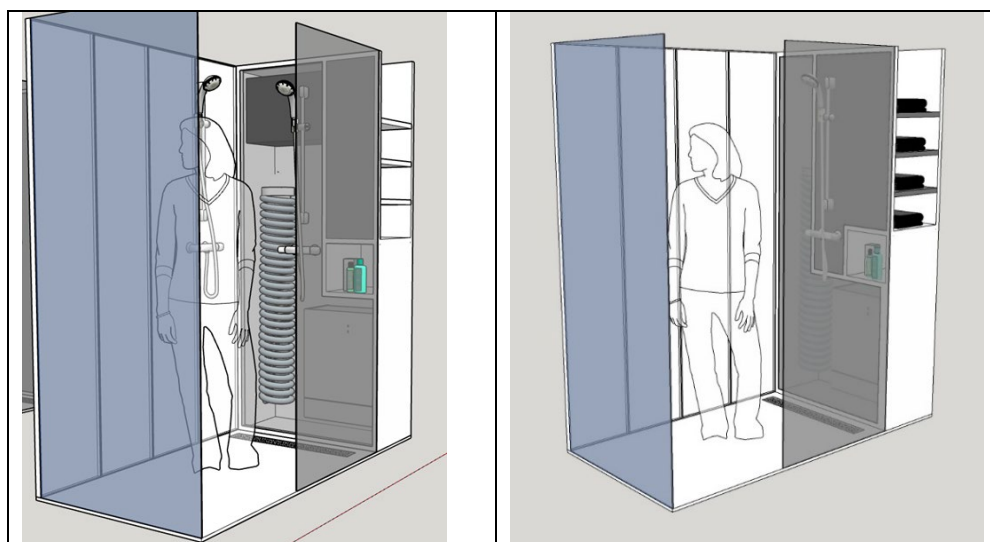
Afname warmwater in boiler: hierbij wordt aangenomen dat het water in de boiler in twee zones is verdeeld. De bovenste zone is op 65 °C en de onderste zone heeft de temperatuur na opwarming door de warmtewisselaar. Door douchen wordt volume in de bovenste zone kleiner. De afnamesnelheid is kleiner dan de 'Warm wateronttrekking aan boiler' omdat (een deel van de) elektrische energie aan deze zone wordt toegevoerd 'Elektrisch vermogen bovenin'.

Bij de inloopdouche is het warmteverlies van de cabine door meer verdamping hoger dan in de douchecabine met open bovenzijde en schuifdeur. Hierdoor is de systeemefficiëntie 62% in plaats van 67%. De verwachte douchetijden dat geriefelijk kan worden gedoucht met minimaal 38 °C bedragen respectievelijk 43 en 34 minuten. Zonder warmteterugwinning zouden deze douchetijden in beide gevallen slechts 13 minuten bedragen. En de opwarmtijd die nodig is om de boiler weer op 65 °C te brengen 63 minuten. Dit is dus ook een voordeel van de warmtewisselaar omdat het water waarmee de boiler tijdens het douchen wordt gevoed voorverwarmd is. Hierdoor wordt de opwarmtijd sterk verkort.

Welk gedeelte van het elektrische vermogen bovenin en onderin de boiler wordt benut is nog een onbekende variabele die aan de hand van metingen moet worden ingeschat. In voorgaand voorbeeld is aangenomen dat het vermogen met name bovenin wordt benut uitgaande van de veronderstelling dat warmwater bij de verwarmingsspiraal direct opstijgt.

4.1.3 3-D visualisaties

Vroeg in het ontwerp zijn een aantal 3-D visualisaties gemaakt van de VitaalDouche om een indruk te krijgen van de inpasbaarheid van de warmtewisselaar en de boiler en om na te gaan welke functies nog meer mogelijk zijn, zie Figuur 2. Wat betreft maakbaarheid was er een voorkeur om een frame te gebruiken met een diepte van circa 30 cm.



Figuur 2 3D visualisaties vanuit twee gezichtspunten van de VitaalDouche met mogelijkheid tot handdoekenkastje en nis voor douchebenodigdheden.

4.1.4 Pijp in pijp douche WTW

In plaats van de helix-warmtewisselaar zou ook gebruik gemaakt kunnen worden van een conventionele pijp-in-pijp-douche warmtewisselaar. Voordeel hiervan is de lagere kostprijs en een compacter ontwerp. Nadeel is het door leveranciers geclaimde rendement van circa 60% ten opzichte van ruim 80% van de helix warmtewisselaar wat in TKI MEED is vastgesteld. Ten opzichte van de spiraal-warmtewisselaar neemt hierdoor naar verwachting de douchetijd, de tijd dat met minimaal 38 °C kan worden gedoucht, voor de inloofdouche af van 34 naar 22 minuten, zie Tabel 3. Dit zou dan weer gecompenseerd kunnen worden door een grotere boiler toe te passen.

Tabel 3 Screenshot van rekensheet voor maximale douchetijd uitgaande van een koud water aanvoertemperatuur van 10 °C, 8 liter per minuut van minimaal 38 °C en een 43 liter boiler bij aanvang op 65 °C en uitgaande van een pijp-in-pijp-douche warmtewisselaar.

	douchecabine	inloofdouche
Vereiste vermogen [W]	15605	15605
WTW efficiëntie [%]	60	60
Warmteverlies cabine [W]	2500	3500
Warmteverlies warmtewisselaar [W]	5242	4842
Vereiste elektrisch vermogen [W]	7742	8342
Elektrisch vermogen bovenin [W]	2600	2600
Tekort [W]	5142	5742
Afname warm water in boiler [l/min]	1.8	2.0
Douchetijd [min]	24	22
"Koud" water aanvoer temperatuur boiler [C]	24.1	23.0
Elektrisch vermogen onderin [W]	0	0
Warm water onttrekking aan boiler [l/min]	2.7	2.9
Boilertemperatuur onderzijde [C]	24.1	23.0
Opwarmtijd [min]	47	48
Elektrische capaciteit ivm salderen [kWh]	2.0	2.1
Systeem efficiëntie [%]	50%	47%

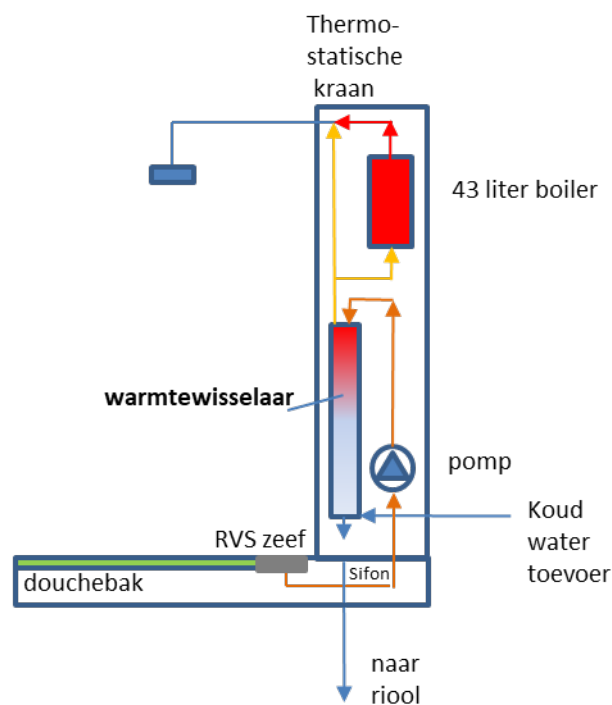
4.2 Ontwerp en assemblage laboratoriummodellen

De conceptontwikkeling heeft door de grotere boiler twee nieuwe installatievarianten opgeleverd:

1. Een frame met een 43 literboiler, gepatenteerde³ helix-warmtewisselaar en een pomp in combinatie met een douchebak met douchegoot.
2. Een frame met een 43 liter boiler, pijp-in-pijp warmtewisselaar en een pomp in combinatie met een douchebak met douchegoot.

³ EP3596397 Shower system

Figuur 3 geeft het stroomschema van de VitaalDouche weer. Het douchewater stroomt door een RVS zeef om haren etc. af te vangen in de douchegoot. De pomp pompt het douchewater vanuit de douchegoot naar de bovenzijde van de warmtewisselaar. Het water stroomt over de warmtewisselaar omlaag en warmt daarbij het aan de binnenzijde van de koperen leiding omhoog stromende drinkwater op. Het voorverwarmde water gaat naar de koud water poort van de thermostaatkraan en naar de elektrische boiler. De thermostatische kraan mengt het voorverwarmde water en het warme water uit de boiler tot de gewenste douchetemperatuur.



Figuur 3 Schematische weergave van werking VitaalDouche.

Voor beide concepten is een proefopstelling gemaakt, zie Figuur 4. Hiervoor zijn conventionele warmwater boilers gebruikt. Dit heeft als groot voordeel dat deze al gecertificeerd zijn. Het opgegeven vermogen van de waterboilers bedraagt 2.600 W. Het is ook mogelijk om de boiler in de zogenaamde eco-stand te gebruiken. In dat geval bedraagt het vermogen 1.300 W.

Voor de pomp, die het douchewater naar de bovenzijde van de warmtewisselaar pompt, is een robuuste membraanpomp gebruikt die ook in eerdere projecten is toegepast.

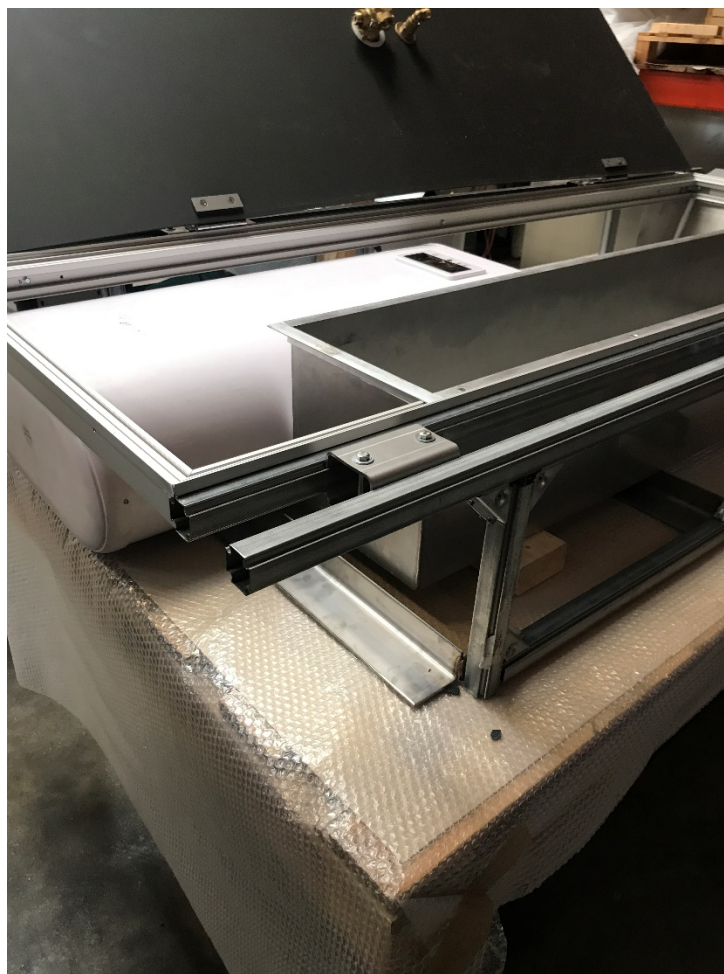
De testresultaten zijn in hoofdstuk 5 beschreven.



Figuur 4 Links proefopstelling voor VitaalDouche met helix warmtewisselaar, rechts proefopstelling voor VitaalDouche met pijp-in-pijp warmtewisselaar.

4.3 Ontwerp en assemblage renovatiepakketten voor praktijktest

Voor de praktijktest is het ontwerp van de laboratoriummodellen aangepast om onderhoud en eventueel reparaties mogelijk te maken. De boiler is bijvoorbeeld zodanig opgehangen dat het mogelijk is om de boiler via de zwart matglazen deur uit het frame te halen, zie Figuur 5. Ook de warmtewisselaar is eenvoudig bereikbaar en te inspecteren na het openen van de deur.



Figuur 5 Opbouw VitaalDouché voor praktijktest liggend op assemblagetafel. Bovenin is de deur te zien waarop de thermostaatkraan is gemonteerd.

In Figuur 6 worden twee 3D visualisaties van de VitaalDouche getoond.



Figuur 6 3D visualisatie van de VitaalDouche voor praktijktest. Links transparante weergave, rechts werkelijk aangezicht met zwarte mat glazen deur.

5 Werkpakket 3 Laboratoriumtesten

De proefopstellingen uit paragraaf 4.2 zijn voorzien van temperatuursensoren om het temperatuur en systeemrendement te bepalen. De boiler heeft een volume van 43 liter. Het vermogen van de boiler is bepaald door de boiler op een Watt meter aan te sluiten. Omdat er geen douchecabine beschikbaar was voor deze testen, is het warmteverlies naar de omgeving door waterverdamping bij het douchen benaderd door de handdouche op ongeveer 40 cm hoogte te plaatsen, zie ook Figuur 4.

De maximale douchetijd is bepaald door vast te stellen op welk tijdstip de gewenste douchetemperatuur van 38 °C niet meer werd gehaald, zie Tabel 4. Volgens dit criterium levert de helix-warmtewisselaar bijna een tweemaal zo lange douchetijd op. Dit is te verklaren door het hoge warmte terugwinrendement (WTW-efficiëntie) van 80%. Hierdoor wordt slechts 20% van de warmte niet teruggewonnen. Bij de pijp-in-pijp warmtewisselaar is de WTW-efficiëntie 60%, hier wordt dus tweemaal zoveel warmte niet teruggewonnen.

Tabel 4 Overzicht meetresultaten in 2020 uitgevoerde laboratoriumtesten. Alle testen zijn uitgevoerd bij een douchedebiet van 7,5 dm³/s en een douchetemperatuur van 38 °C. De aanvoertemperatuur was 11,5 °C.

Warmtewisselaar	Max. douchetijd met T > 38 °C [min]	Boiler-vermogen [W]	Opmerkingen
Douchepijp (23 april)	25	2.280 W	
Douchepijp (24 april)	9 – 9 – 9 - 7	2.280 W	5 min. pauze tussen douchebeurten
Helix (28 april)	10 – 10 – 10 – 8½	2.000 W	10 min. pauze tussen douchebeurten
Helix (28 april)	15 - 13	2.000 W	10 min. pauze tussen douchebeurten
Helix (7 mei)	45	2.280 W	
Helix (8 mei)	6 x 15 min + 7½	2.280 W	5 min. pauze tussen douchebeurten

De meting van 23 april 2020 is met het rekensheet uit paragraaf 4.2 nagerekend, zie Tabel 5. De douchetijd van 25 minuten in Tabel 4 kan worden benaderd door aan te nemen dat door opwaartse stroming vanaf het elektrische element het merendeel, bijna 80%, van het elektrische vermogen boven in de boiler wordt afgegeven. De gesimuleerde opwarmtijd komt redelijk overeen met de experimenteel vastgestelde opwarmtijd van 45 minuten.

Tabel 5 Screenshot van rekensheet voor maximale douchetijd bij minimaal 38 °C voor meting van de douchepijp warmtewisselaar op 23 april: koud water aanvoertemperatuur van 11 °C, 7 liter per minuut van 38 °C en een 43 liter boiler bij aanvang op 65 °C.

	inloopdouche
Vereiste vermogen [W]	13167
WTW efficiëntie [%]	60
Warmteverlies cabine [W]	1756
Warmteverlies warmtewisselaar [W]	4564
Vereiste elektrisch vermogen [W]	6320
Elektrisch vermogen bovenin [W]	1800
Tekort [W]	4520
Afname warm water in boiler [l/min]	1.6
Douchetijd [min]	26
"Koud" water aanvoer temperatuur boiler	25.0
Elektrische vermogen onderin [W]	480
Warm water onttrekking aan boiler [l/min]	2.3
Boilertemperatuur onderzijde [C]	28.1
Opwarmtijd [min]	49
Elektrische capaciteit ivm salderen [kWh]	1.8
Systeem efficiëntie	52%

De temperaturen tijdens de meting aan de helix-warmtewisselaar op 7 mei 2020 zijn in Tabel 6 vermeld.

Tabel 6 Meting helix warmtewisselaar 7 mei 2020.

	Temperatuur [°C]
Douchekop	38,0
Doucheputje	34,4
Koud water	11,0
Bovenzijde WTW	29,5
Onderzijde boiler	34

De meting van 7 mei 2020 is met de rekensheet uit paragraaf 4.2 nagerekend, zie Tabel 7. De douchetijd van 45 minuten bij minimaal 38 °C en de temperaturen in Tabel 4 kunnen worden benaderd door weer aan te nemen dat het merendeel, bijna 80%, van het elektrische vermogen bovenin de boiler wordt afgegeven.

Het geleverde vermogen van 13.167 W is lager dan het vermogen van 15.605 W in Tabel 2 in paragraaf 4.1.2 door een lager douchedebiet en een kleiner warmteverlies tussen douchekop en doucheputje. Dit omdat de handdouche zich vlak boven de douchebak bevond, waardoor er minder afkoeling plaatsvindt. Naar verwachting zal dit warmteverlies in de praktijk hoger zijn wat tot een kortere douchetijd leidt.

Tabel 7 Screenshot van rekensheet voor maximale douchetijd voor meting van de helix warmtewisselaar op 7 mei 2020: koud water aanvoertemperatuur van 11 °C, 7 liter per minuut van minimaal 38 °C en een 43 liter boiler bij aanvang op 65 °C.

	inloopdouche
Vereiste vermogen [W]	13167
WTW efficiëntie [%]	80
Warmteverlies cabine [W]	1756
Warmteverlies warmtewisselaar [W]	2282
Vereiste elektrisch vermogen [W]	4038
Elektrisch vermogen bovenin [W]	1800
Tekort [W]	2238
Afname warm water in boiler [l/min]	0.9
Douchetijd [min]	47
"Koud" water aanvoer temperatuur boiler [C]	29.7
Elektrische vermogen onderin [W]	480
Warm water onttrekking aan boiler [l/min]	1.6
Boilertemperatuur onderzijde [C]	33.9
Opwarmtijd [min]	41
Elektrische capaciteit ivm salderen [kWh]	1.6
Systeem efficiëntie	69%

6 Werkpakket 4 Installatie en monitoring

6.1 Eerste pilot vervanging ligbad door douchecabine met schuifdeur

Bij de eerste pilot is een ligbad verwijderd en een douchecabine met open bovenzijde en schuifdeur in een appartement met 1 bewoner in Blaricum geplaatst. In deze woning werd voorheen het warmwater voor het bad geleverd met een elektroboiler. Het eindresultaat wordt getoond in Figuur 7.

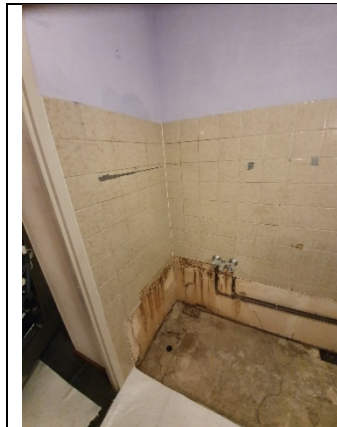


Figuur 7 VitaalDouche in Blaricum, douchecabine met schuifdeur

6.1.1 Installatie

De installatie van de VitaalDouche is op woensdag 9 december 2020 gestart door drie installatiemonteurs van Molenaar. Aanvankelijk waren 2 werkdagen gecalculeerd voor het monteren en installeren van de VitaalDouche. Uiteindelijk zijn dit door enkele tegenslagen bij de montage 4 werkdagen geworden en is op maandag 14 december de badkamer naar volle tevredenheid van de klant opgeleverd.

De installatie is op de fotostrip van Figuur 8 weergegeven.



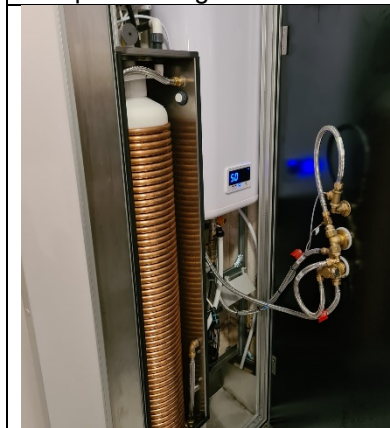
Sloop aanwezige bad



Plaatsen inbouwframe



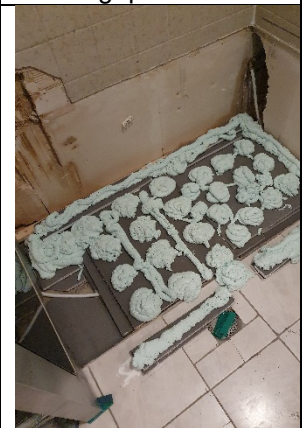
Frame geplaatst



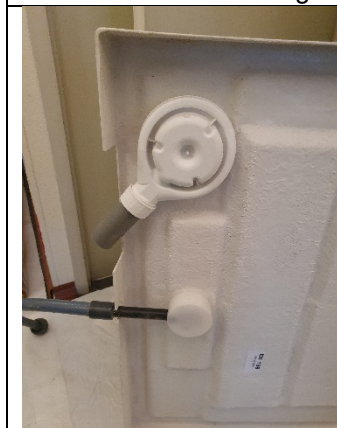
Boiler en WW in frame gezet



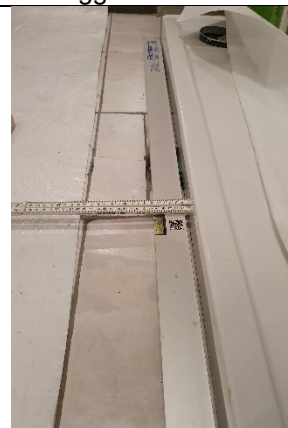
Aanleggen koud water



Verhogen vloer



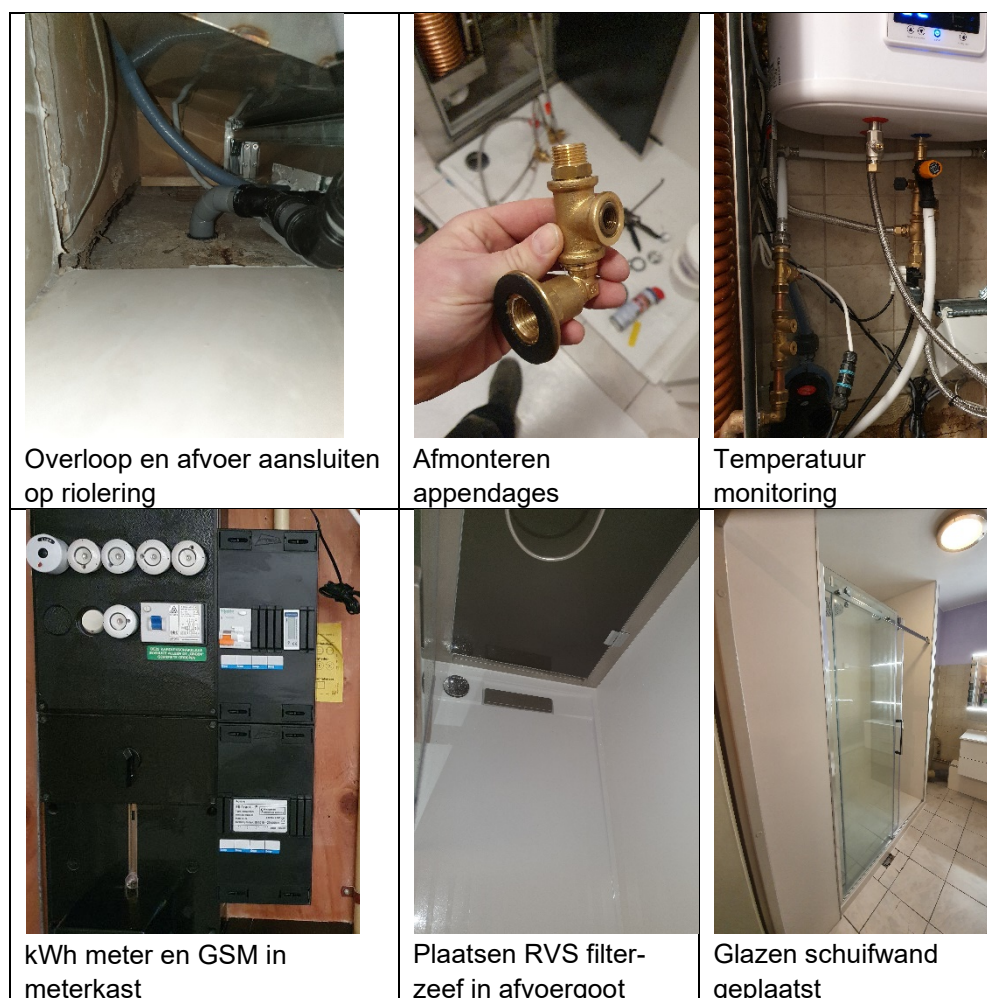
Onderzijde douchebak met overloop en afvoer



Plaatsen douchebak en acryl wandpanelen



Montage airbreak to drain



Figuur 8 Fotostrip plaatsing VitaalDouche in Blaricum.

6.1.2 Gebruikerstevredenheid

Enkele dagen na de installatie is door de gebruiker/bewoner een enquête ingevuld, zie Tabel 8.

Tabel 8 Resultaten gebruikersenquête (score van 1 tot 7 mogelijk, met 7 als maximum score).

Testlocatie	Blaricum 23/12/2020
1. Algemeen douchecomfort	6
2. Genoeg warm water	6 ¹
3. Temperatuurregeling	5 ²
4. Geluidsniveau	3 ³
5. Cabine	
6. Gebruiksgemak	5 ⁴
7. Koude douche ervaring	7
8. Filterschoonmaak	na douchen haren verwijderen

Toelichting

1. Wat betreft waterhoeveelheid wordt opgemerkt dat er wel verschil zit tussen de regendouche en de handdouche.
2. Aan de temperatuurregeling wordt nog gewerkt. De thermostaatkraan was in eerste instantie te heet ingesteld.
3. Het geluidsniveau wordt als matig beoordeeld. De afvoer hapt 'valse lucht' wat geluid veroorzaakt.
4. De bediening is met twee knoppen ingewikkeld. Daarnaast zit de slang voor de aan-uit-knop.

Naast de enquête is door Molenaar ook een oplevering uitgevoerd samen met de gebruiker, waaruit als belangrijkste verbeterpunt naar voren kwam of er iets aan het slurpende geluid gedaan kan worden.

Op 25 januari 2021 is door de bewoner een douche duurtest uitgevoerd, hierbij is een maximale doucheduur van ruim 20 minuten vastgesteld waarbij geriefelijk kon worden gedoucht. Het gemiddelde WTW-rendement tijdens deze lange douchebeurt bedroeg 79% en het gemiddelde systeemrendement 69%. De douchetijd is korter dan in de laboratoriummetingen vastgesteld. Dit kan worden verklaard door de volgende verschillen in omstandigheden:

- Het waterdebiet is 8,5 l/min in plaats van 7 l/min.
- De wateraanvoertemperatuur is 8,3 °C in plaats van 10 °C.
- De douchetemperatuur is 39,5 °C in plaats van 38 °C.
- Het werkelijke vermogen is lager: 1.800 W in plaats van 2.280 W.
- Het warmteverlies van de cabine volgt uit het verschil tussen de watertemperatuur van de douchekop en het putje en bedraagt 3.257 W in plaats van 1.756 W.

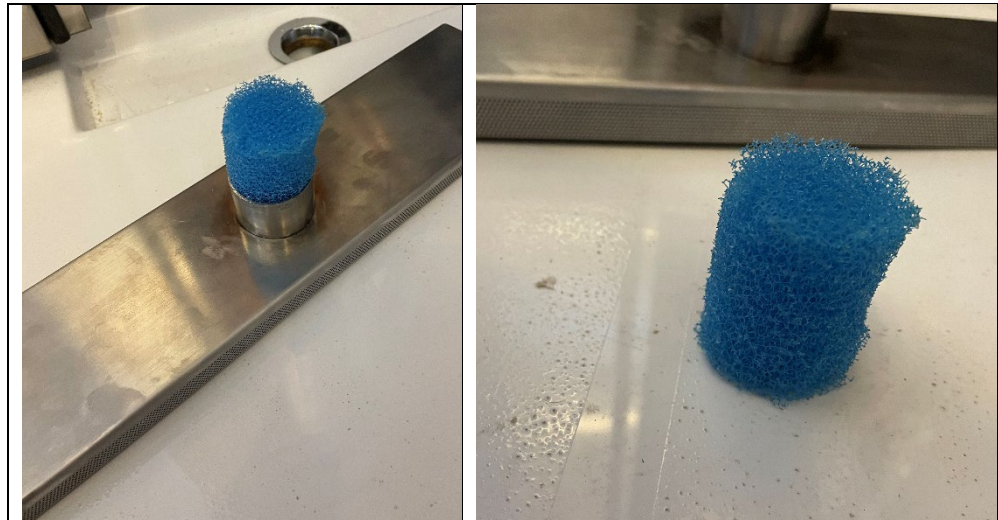
De lage leidingwatertemperatuur, zelfs kouder dan de 10 °C waarvan het PvE vanuit gaat, geeft aan dat de duurtest onder 'worst case' condities is uitgevoerd.

6.1.3 Technische aanpassingen

Om het geluid ten gevolge van de pomp te reduceren zijn door Beter Bad twee modificaties doorgevoerd. In tegenstelling tot bij de RenoDouche waar de pomp zich op het hoogste punt bevindt, is bij de VitaalDouche de pomp op het laagste punt geplaatst. Om te voorkomen dat de waterdruk mechanische stress en geluid veroorzaakt is direct na de pomp de door de leverancier van de pomp meegeleverde terugslagklep aangebracht.

De tweede modificatie betreft het plaatsen van een schuimfilter, zie Figuur 9, in de afvoer van het rvs zeefilter. Hiermee wordt het slurpend geluid wat ontstaat door het aanzuigen van valse lucht voorkomen. Valse lucht kan worden aangezogen indien de pomp net iets harder pompt dan dat er water wordt toegevoerd.

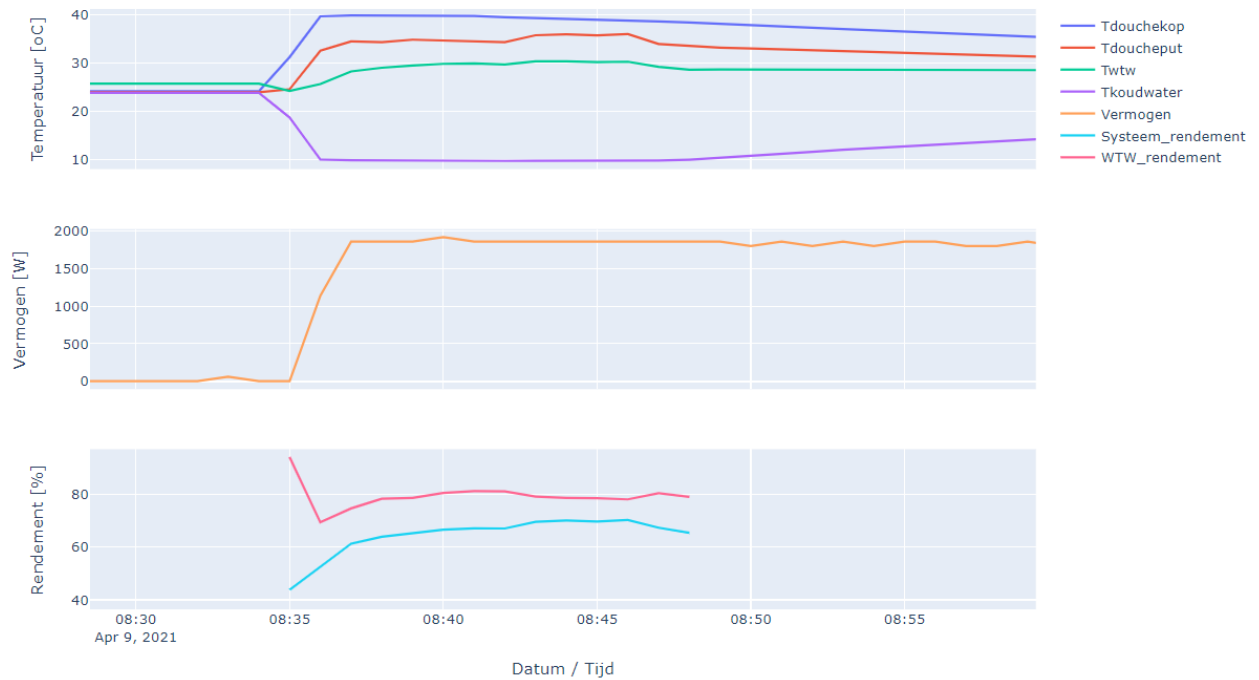
Ook zijn enkele ontwerp aanpassingen doorgevoerd waardoor de deur eenvoudiger en sneller te monteren is.



Figuur 9 Schuimfilter in afvoer van rvs zeeffilter om slurpend geluid tegen te gaan.

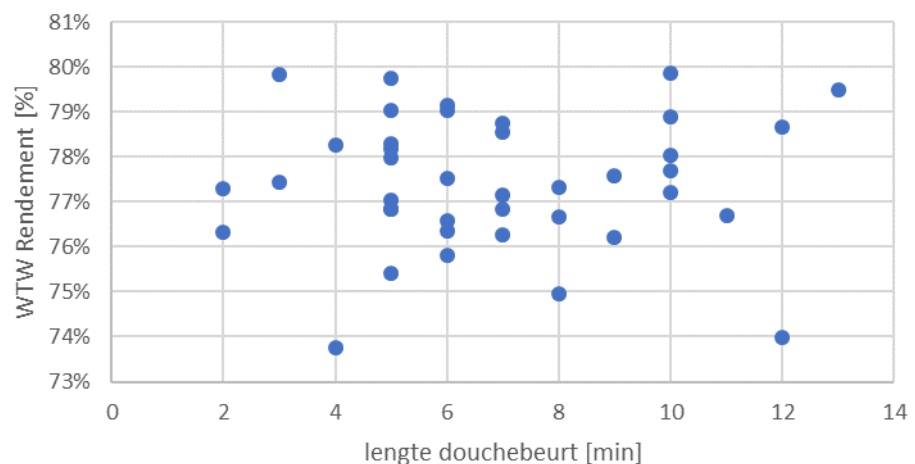
6.1.4 Monitoring

De monitoringsdata tussen 1 maart 2021 en 11 april 2021 zijn automatisch geëvalueerd met een speciaal voor dit project ontwikkeld Python algoritme. Hiermee worden de douchebeurten automatisch gedetecteerd en zowel het warmteterugwin (WTW) als het systeemrendement berekend, zie als voorbeeld Figuur 10. Ook wordt van elke douchebeurt de lengte geregistreerd. In totaal leverde dit over 41 dagen 40 douchebeurten op.

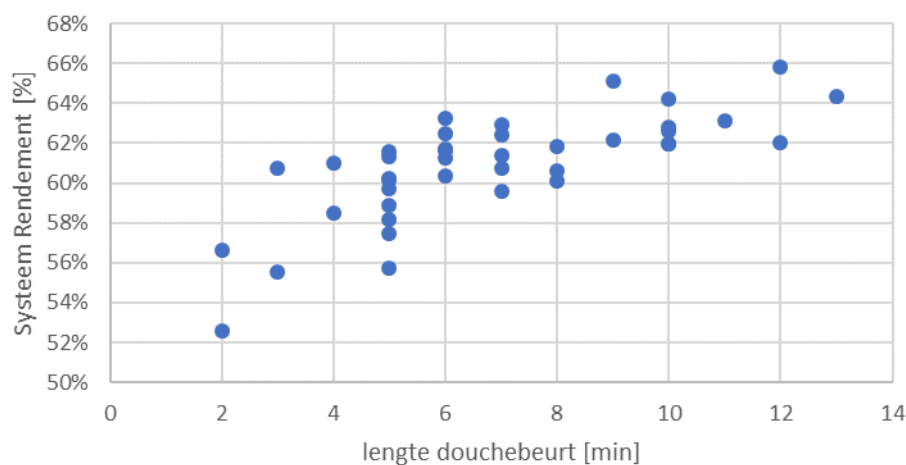


Figuur 10 Voorbeeld van automatische bepaling WTW- en systeemrendement uit de temperatuur monitoringsdata, bij deze douchebeurt bedroegen deze tijdgemiddeld respectievelijk 79 en 64%.

Figuur 11 en Figuur 12 laten respectievelijk het WTW en het systeemrendement zien als functie van de lengte van de douchebeurten. Bij het WTW-rendement is er geen duidelijk verband zichtbaar. Bij een langere douche neemt het systeemrendement duidelijk toe van ruim 50% naar circa 66%. Dit wordt veroorzaakt doordat de warmteverliezen ten gevolge van het opwarmen van de douchebak, wanden, verdamping, etc. steeds kleiner worden. Mediane waarden voor het WTW en het systeemrendement zijn respectievelijk de 77% en 61%.



Figuur 11 WTW-rendement als functie van de lengte van de douchebeurt.



Figuur 12 Systeemrendement als functie van de lengte van de douchebeurt.

Uit de monitoring van de kWh meter is uitgaande van een periode van meer dan 24 uur waarin niet werd gedoucht bij een boiler temperatuur van 65 °C en een badkamer temperatuur van 23,5 °C een standby verbruik van de 43 liter boiler van 39,7 W afgeleid. Dat komt overeen met bijna 1 kWh per dag aan standby verlies. Over de monitoringsperiode van 1 maart tot en met 10 april is in totaal 80,5 kWh verbruikt. Waarvan 39 kWh aan standby verbruik en 41 kWh aan douchen. Met deze 80,5 kWh elektriciteit is $1/(1-0,61) * 41 = 105$ kWh aan nuttige thermische energie geleverd. Omdat de boiler in het frame is gemonteerd treden er geen leidingverliezen op. Deze getallen zijn op basis van een 1-persoonshuishouden. Bij een meerpersoonshuishouden, waarbij de douche vaker wordt gebruikt, wordt deze verhouding nog gunstiger.

6.2 Tweede pilot met inloofdouche

Bij de tweede pilot is in februari 2021 een inloofdouche met inbouwframe in een eengezinswoning in Ermelo geplaatst. De totale installatie inclusief het slopen van muren in de badkamer en het plaatsen van diverse kasten duurde 7 dagen. Naar schatting nam hiervan de plaatsing van de VitaalDouche twee dagen in beslag. Het eindresultaat wordt getoond in Figuur 13.



Figuur 13 2^e pilot met VitaalDouche in inloopdouche uitvoering.

6.2.1 Installatie

Ten opzichte van de eerste installatie in Blaricum zijn door Molenaar de volgende verbeteringen en aandachtspunten gemeld:

1. De plaatsing van de kraan is aangepast waardoor de slang van de douchekop niet meer voor de kraan hangt, wat een verbetering is voor het gebruik.
2. Het slurpende geluid van de pomp is tijdens het douchen vrijwel niet meer waarneembaar volgens terugkoppeling van de beleving van de gebruiker. .
3. Montagehandleiding ontbreekt nog.
4. De douchebak mag echt steviger en ook strakker, nu komt er een "grote" kitnaad tussen het systeem en de bak.
5. Een must zijn echt de stelpoten onder het frame.
6. We moeten kijken of we iets aan het gewicht kunnen gaan doen.

Op basis van de installatie ervaringen is door BeterBad een montagehandleiding opgesteld.

6.2.2 Gebruikerstevredenheid

Door de gebruikers is een enquête ingevuld op 13 april 2020, zie Tabel 9. Ten opzichte van Blaricum scoren geluid en gebruiksgemak duidelijk hoger.

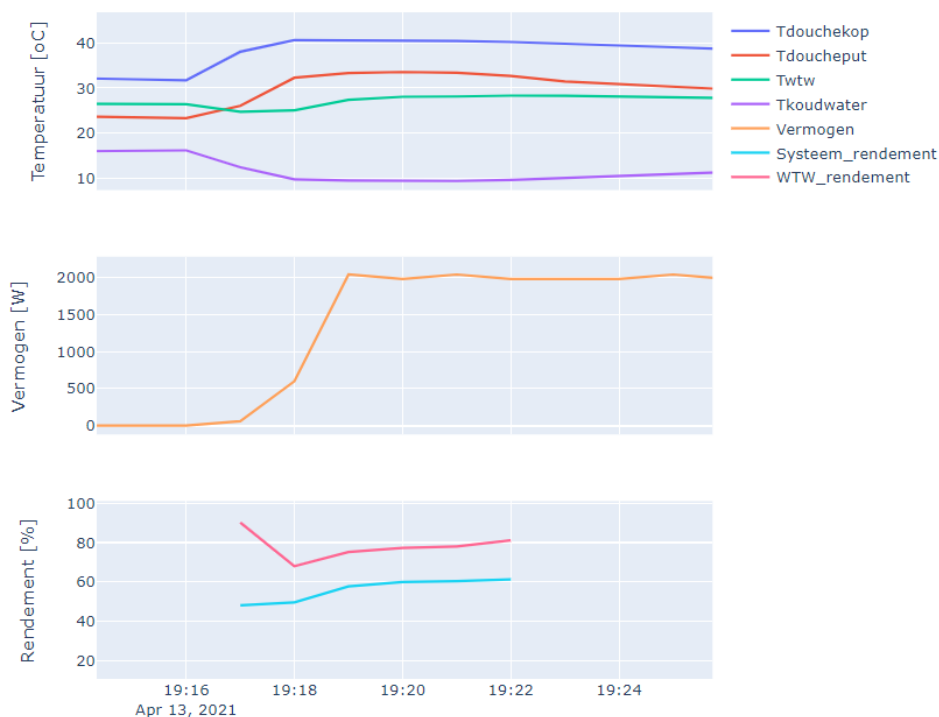
Tabel 9 Resultaten gebruikersenquête (score van 1 tot 7 mogelijk, met 7 als maximum score).

Testlocatie	Ermelo 13/4/2021
1. Algemeen douchecomfort	6
2. Genoeg warm water	6

3. Temperatuurregeling	6
4. Geluidsniveau	6
5. Inloopdouche douchebak	6
6. Gebruiksgemak	6
7. Koude douche ervaring	nooit
8. Filterschoonmaak	1 x per week

6.2.3 Monitoring

Door een technisch defect in combinatie met COVID-19 restricties was het helaas pas mogelijk om de tweede pilot vanaf 13 april 2021 te monitoren op energetische efficiëntie. Hierdoor konden slechts enkele douche acties worden gemonitord. Figuur 14 geeft hier hiervan een voorbeeld. Het WTW-rendement is vergelijkbaar met de pilot in Blaricum. Het systeemrendement is lager. Dit zou kunnen worden verklaard door de relatief korte doucheduur en door extra verliezen door de open uitvoering van deze inloopdouche, zie paragraaf 4.3.1.



Figuur 14 Voorbeeld van automatische bepaling WTW- en systeemrendement uit de temperatuur monitoringsdata, bij deze douchebeurt van 5 minuten bedroegen deze tijdgemiddeld respectievelijk 78 en 56%.

7 Discussie

Bij de eerste pilot is een douchecabine met open bovenzijde en schuifdeur in een appartement in Blaricum geplaatst, waar voorheen warm water aan de douche werd geleverd met een elektroboiler. In de situatie voorafgaande aan de pilot bedroegen de energiekosten voor douchen circa 4 euro per uur, uitgaande van 17,5 kW vermogen en 23 cent/kWh. Met de VitaalDouche werd dit gereduceerd naar circa 1,33 euro per uur. Dit is goedkoper dan met een HR-ketel op gas, waarmee douchen circa 1,95 euro per uur aan gas kost. De kosten voor het water bedragen in alle drie de gevallen circa 0,50 euro per uur douchen.

In het Programma van Eisen is aangegeven dat de douchetijd minimaal 45 minuten dient te bedragen. Bij de laboratoriummetingen werd met de helix-warmtewisselaar aan deze eis voldaan. Onder 'worst case' condities in de praktijkbeproeving in de winter kon echter niet aan deze eis voldaan worden. Naar verwachting zal de douchetijd in de zomer, bij een hogere wateraanvoertemperatuur, wel een stuk langer zijn. Indien een langere douchetijd is gewenst is het mogelijk om een boiler met een hoger vermogen te plaatsen.

Bij de inlooptdouche was in het Programma van Eisen in eerste instantie een perilex aansluiting voorzien. Om installatiekosten en tijd te beperken is gekozen voor een boiler met 2 kW vermogen. Op deze manier is er geen e-installateur noodzakelijk. De douche kan hierdoor op de bestaande badkamergroep worden aangesloten en daarbij is er ook nog ruimte voor andere stroomverbruikers, zoals bijvoorbeeld een föhn. Deze oplossing kan toegepast worden voor 1 of 2 persoonshuishoudens, of voor grotere huishoudens waarbij rekening gehouden wordt met de vereiste opwarmtijd van circa 45 minuten. Voor onbeperkt douchen is het mogelijk om de 10 liter boiler met 6 kW verwarmingsvermogen in te zetten. In dat geval is dan wel een perilex aansluiting vereist.

In het Programma van Eisen was een lage instap voorzien. Deze instap van maximaal 5 cm is gezien de doelgroep een belangrijke vereiste. Vanwege de benodigde hoogte voor de ingebouwde sifon voor de overloop van de douchebak bedraagt de instap ca. 10 cm. Verlaging van de instap is mogelijk door deze sifon in de vloer te verzinken. In de twee testlocaties zou daarvoor in de vloer te worden gehakt. In het kader van de pilot was dit niet wenselijk.

Bij de tweede woning was de installatietijd van de VitaalDouche teruggebracht naar 2 dagen. De beoogde installatie in één dag is in dit project nog niet behaald. Wel wordt hiermee voor de gebruiker het aantal dagen dat niet kan worden gedoucht tot een minimum beperkt tot één dag (s 'ochtends douchen voor renovatie, s 'avonds de volgende dag douchen na oplevering). Verdere optimalisatie is nodig om de doelstelling van de inbouw van 1 dag te behalen.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

In het project zijn op basis van een fysisch model en laboratoriumtesten succesvol twee prototype badkamerrenovatiepakketten ontwikkeld en in de praktijk gedemonstreerd voor het aardgasloos of aardgasloos-ready maken van de warmtapwater voorziening: een douchecabine met open bovenzijde met schuifdeur en een inlopdouche. Beide varianten van deze zogenaamde VitaalDouche zijn vervolgens in een particuliere woning ingebouwd, elke variant in een afzonderlijke woning, en gedurende enkele maanden gemonitord. De monitoringsresultaten laten zien dat uit het douchewater tussen de 75 en 80% van de warmte wordt teruggewonnen. Hiermee kan in 60 – 65% van de warmte benodigd om te douchen worden voorzien.

Door in het frame een 43 liter boiler in te bouwen kon het aansluitvermogen worden verlaagd van 6.000 naar 2.000 W, zodat deze op een normaal stopcontact kan worden aangesloten waardoor geen zware elektrische aansluiting noodzakelijk is.

Met de ingebouwde 43 liter boiler kon tijdens de laboratoriumbeproeving tot 45 minuten warm water worden geleverd. Tijdens een 'worst case' scenario wat betreft de aanvoertemperatuur van het koude water is in de praktijktest en maximale doucheduur van ruim 20 minuten vastgesteld waarbij de gewenste watertemperatuur van 39,5 °C werd behaald. Dit is veel langer dan de 8 minuten dat gebruikers in de praktijk gemiddeld douchen. Het gemiddelde WTW-rendement tijdens deze lange douchebeurt bedroeg 79% en het gemiddelde systeemrendement 69%. De doucheduur is korter dan in de laboratoriummetingen vastgesteld. Dit verschil kan worden verklaard door een hoger waterdebiet, hogere douchetemperatuur, hogere warmteverliezen en een lager boilervermogen. Groot voordeel van de in de douche ingebouwde warmtewisselaar en boiler is dat het aan de boiler toegevoerde water ook wordt voorverwarmd, waardoor de opwarmtijd wordt gehalveerd. Hiermee is het bijvoorbeeld mogelijk om met korte pauzes tussen de douches toch met bijvoorbeeld een vierpersoons gezin te douchen.

Uit de ervaringen met de inbouw van de eerste pilot en de gebruikersenquête is een aantal verbeterpunten gedestilleerd die bij de tweede woning direct zijn toegepast. Onder andere is het geluid van de pomp sterk gereduceerd.

8.2 Aanbevelingen

De VitaalDouche kan in principe het warmwater in de gehele woning leveren, dus naast de douche kan ook de warmwatervoorziening voor de wastafel in de badkamer en aan de keuken geleverd worden. Hierbij moet rekening te worden gehouden met de leveringszekerheid na lang douchen. Ook dient dan de bestaande warmwatervoorziening legionella veilig afgekoppeld te worden. Voorkomen dient te worden dat je door het afkoppelen niet meer doorstroomde leidingstukken krijgt. Indien warmwater in de woning werd geleverd vanuit een

boiler kan de VitaalDouche veel ruimtewinst opleveren. Dit is met name in kleine woningen een belangrijk voordeel.

Een tweede verbeterpunt die de toepassing van de VitaalDouche nog verder vergroot is de verlaging van de huidige instaphoogte van 7,5 cm van de douchebak.

Een derde verbeterpunt is vereenvoudiging van de bediening door een standaard thermostaatkraan toe te passen. Hiervoor moet dan wel de aansturing van de pomp worden aangepast om te voorkomen dat indien elders in de woning warmwater wordt getapt (keuken of wastafel in badkamer) de pomp in de douche in werking treedt, wat geluidsoverlast kan geven omdat er dan niet wordt gedoucht.

9 Ondertekening

Delft, 16 juni 2021

TNO

Ir. A.C. Westerlaken
Research Manager

Ir. P. Jacobs
Auteur